

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



JC979 U.S. PRO  
10/071491  
02/07/02

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 101 05 585.4

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

Anmeldetag: 7. Februar 2001

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Betrieb eines Magnetresonanzgeräts

IPC: A 61 B, G 01 R

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. September 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident  
Im Auftrag

Seiter

## Verfahren zum Betrieb eines Magnetresonanzgeräts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Magnetresonanzgeräts, bei dem sequenziell Messsignale eines Untersuchungsobjekts aufgenommen und mittels eines Bildrechners in ausgebare Bilddatensignale eines Einzelbilds und einer Bildserie verarbeitet werden.

Magnetresonanzgeräte kommen zur radiologischen Untersuchung von Patienten verstärkt zum Einsatz, da sie eine relativ belastungsfreie Untersuchung des Patienten sowie die Begutachtung unterschiedlichster Körperbereiche ermöglichen. Die Funktionsweise solcher Magnetresonanzgeräte ist hinreichend bekannt. In zunehmendem Maß jedoch stellt sich der Anspruch der Reproduzierbarkeit der aufgenommenen Untersuchungsergebnisse bzw. der aufgenommenen Bilder. Dies ist erforderlich, um beispielsweise zeitlich versetzt aufgenommene Bilder oder mittels verschiedener Magnetresonanzgeräte aufgenommene Bilder etc. vergleichen zu können. D.h., unabhängig von Ort und Zeit der Untersuchung sollte das Ergebnis im Wesentlichen immer das Gleiche oder zumindest vergleichbar sein.

Dies ist jedoch aufgrund der üblichen Betriebsverfahren bekannter Magnetresonanzgeräte nicht möglich. Die Qualität der aufgenommenen Bilder ist in hohem Maß abhängig vom Können, der Motivation und der Erfahrung der Bedienungsperson, vom Standard des Magnetresonanzgeräts, der vorausgehenden Anamnese, der Perzeption des Patienten und anderer Faktoren. Es liegt auf der Hand, dass aufgrund dieser vielen die Bildqualität tangierenden Faktoren, die zumeist subjektive Natur sind und von den beteiligten Personen abhängen, eine Reproduzierbarkeit in der Regel kaum möglich ist. Erschwerend kommt hinzu, dass stets versucht wird, die Untersuchungsdauer möglichst kurz zu halten, um die Betriebszeit des Geräts pro Untersuchungspatient möglichst kurz und damit die Anlagenauslastung möglichst hoch zu gestalten. Letztlich führt die bisherige Betriebsweise zu stark schwankenden Qualitätsstandards

und zu einem häufigen Ärztewechsel, da sich Patienten nach einer unbefriedigend erscheinenden Untersuchung ein weiteres Mal von einem anderen Arzt untersuchen lassen.

5 Der Erfindung liegt damit das Problem zugrunde, ein Betriebsverfahren für ein Magnetresonanzgerät sowie ein entsprechendes Magnetresonanzgerät selbst anzugeben, das eine reproduzierbare Bildaufnahme ermöglicht.

10 Zur Lösung dieses Problems ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Bilddaten eines Einzelbilds oder einer Bildserie in Bezug auf wenigstens einen diagnosespezifischen, ein Maß für die zu erzielende Bildqualität darstellenden vorbestimmten einzelbild- oder bildserienbezogenen Parameter ausgewertet werden, wobei die Messsignalaufnahme in Abhängigkeit des Auswerteergebnisses bei Erfüllung des vorgegebenen Parameters beendet oder solange weitergeführt wird, bis eine erneute Auswertung die Erfüllung des vorgegebenen Parameters anzeigt.

20 Das erfindungsgemäße Verfahren schlägt vorteilhaft vor, dass für jede Untersuchung eine bildqualitative Vorgabe in Form des einzelbild- oder bildserienbezogenen Parameters angegeben wird, die ein an das Einzelbild oder die Bildserie zu setzende Qualitätsmaß darstellt, welches vom Einzelbild oder der Bildserie zu erfüllen ist. Der Parameter ist diagnosespezifisch, d.h., er ist speziell auf die der Untersuchung zugrunde liegende diagnostische Fragestellung abgestimmt. Dies ermöglicht es, je nach Untersuchungszweck eine entsprechende 25 Qualitätsvorgabe an das Bild oder die Bildserie zu stellen, da je nach diagnostischer Fragestellung unterschiedliche Patientenbereiche zu untersuchen sind bzw. die Bilddarstellung unterschiedliche, diagnosespezifische Bildinformationen beinhalten muss. Der jeweils zugrunde zu legende Parameter wird 30 von dem Magnetresonanzgerät bei Eingabe der entsprechenden Patienten- und Untersuchungsinformationen (z.B. Informationen 35 zur Person des Patienten wie Alter, Gewicht etc. sowie Infor-

mationen zum Untersuchungsgebiet, zur diagnostischen Fragestellung etc.) geräteseitig selbst aus einer hinterlegten Parameterschar ausgewählt, alternativ besteht natürlich auch die Möglichkeit, dass die Bedienperson den oder die qualitätsbestimmenden Parameter selbst auswählt oder den einen Parameter den geräteseitig ausgewählten Parameter noch hinzufügt.

Während des Gerätebetriebs, also während der Messsignalaufnahme wird zunächst eine Schicht des Patienten vermessen und anschließend die Bilddatensignale durch Fourier-Transformation rekonstruiert. Anschließend werden die hierdurch erhaltenen Bilddatensignale in Bezug auf den oder die vorgegebenen Parameter ausgewertet, es wird also überprüft, ob die bereits aufgenommenen Bilddatensignale ausreichend sind und die Parametervorgabe erfüllt ist oder nicht. Ist die Parametervorgabe erfüllt so bedeutet dies, dass die an das jeweilige Einzelbild oder die Bildserie durch den vorbestimmten Parameter gesetzten Qualitätsvorgaben erfüllt sind, d.h., das jeweilige Bild oder die Bildserie erfüllt eine Mindestqualität. Die Aufnahme kann dann beendet werden. Ergibt die Auswertung, dass der oder die vorgegebenen Parameter noch nicht erfüllt sind, so wird die Messsignalaufnahme weitergeführt, d.h., die vermessene Schicht wird noch weiter untersucht, wobei nach einer weiteren Messung der Schicht eine erneute Auswertung vorgenommen wird. Diese kann nun ergeben, dass die Qualitätsanforderungen erfüllt sind, wonach die Signalaufnahme und damit die Bildaufnahme beendet wird. Zeigt auch die erneute Auswertung, dass die Qualitätsvorgaben immer noch nicht erfüllt sind, so wird die Untersuchung fortgesetzt.

Da es sich bei den Parametern um vorbestimmte Mindestqualitätsmaße handelt, die ein Bild oder eine Bildserie mindestens aufweisen muss, lässt das erfundungsgemäße Verfahren vorteilhaft eine hinreichende reproduzierbare Bildaufnahme zu. Denn zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder mit unterschiedlichen Magnetresonanzgeräten aufgenommenen Bildern liegt jeweils der

oder die gleichen qualitätsdefinierenden Parameter zugrunde, so dass die Bilder letztlich die gleiche bzw. eine sehr ähnliche Mindestqualität aufweisen. Für den behandelnden Arzt sind damit zeitversetzte Diagnosen anhand unterschiedlicher Bilder problemlos möglich. Das erfindungsgemäße Verfahren bietet also die Möglichkeit, eine Zielvereinbarung an die Bildqualität zu setzen, deren Erreichung vom System selbst während der Untersuchung überwacht wird und erst zu einem positiven Abschluss der Untersuchung führt, wenn das Ziel erreicht wird. Letztlich wird also die Untersuchungsdauer nicht mehr von dem rein subjektiven Können der Bedienungsperson bestimmt, sondern von dem Magnetresonanzgerät selbst, welches den Betrieb so lange steuert, bis ein bezogen auf die diagnostische Fragestellung und damit den diagnosespezifischen Parameter optimales Bild vorliegt. Das erfindungsgemäße Magnetresonanzgerät, das zur Durchführung dieses Verfahrens geeignet ist, kann folglich auch von weniger versierten Personen bedient werden.

Die vorbestimmten Parameter können beliebiger Art sein, so lange sie in irgendeiner Weise ein qualitatives Bildmerkmal beschreiben. Als Parameter kann beispielsweise ein bildkontrastbezogener Parameter verwendet werden, wobei das Einzelbild oder die Bildserie bezüglich des Kontrasts eines oder mehrerer Bildbereiche ausgewertet wird. Soll beispielsweise das Gehirn eines Patienten untersucht werden, so kann der bildbezogene Parameter beispielsweise den Kontrast zwischen weißer und grauer Hirnsubstanz definieren, den das Bild oder die Bildserie mindestens aufweisen muss. Der Parameter kann dabei zweckmäßigerweise das Verhältnis der Grauwerte zweier Bildbereiche definieren.

Als gegebenenfalls weiterer Parameter kann ein bilddatensignalbezogener Parameter verwendet werden, der ein Maß für den Verlauf des Bildsignals ist. Dieser Parameter, der beispielsweise die Signalamplitudenhöhe und/oder die Steilheit der Signalflanke(n) und/oder das Verhältnis Amplitudenhöhe : Amp-

litudenbreite definieren kann, bestimmt also die Qualität anhand des den Verlauf des aufgenommenen Bildsignals. Dies ist beispielsweise im Rahmen von Gefäßuntersuchungen zweckmäßig, bei denen die Gefäßstruktur zu leicht auswertbaren Signalverläufen führt.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass zur Prüfung der Stabilität der Bildaufnahme wenigstens zwei, vorzugsweise mehrere nacheinander aufgenommene Bilder dahingehend ausgewertet werden, ob sich ein Bildparameter, z.B. der Kontrast oder die Helligkeit eines Bildbereichs innerhalb einer mittels des Parameters definierten Grenze ändert, wobei bei einer zu starken Änderung weitere Messsignale und damit Bilder aufgenommen werden. Diese Stabilitätsprüfung ist beispielsweise im Rahmen funktioneller Untersuchungen wie beispielsweise solcher zur Bestimmung des BOLD-Effekts (BOLD = Blood Oxygen Level Detection) zweckmäßig, wo Areale mit erhöhtem Sauerstoffbereich, in denen also definierte Reize verarbeitet werden, mittels der Magnetresonanzuntersuchung sichtbar gemacht werden. Hierüber kann ermittelt werden, ob bereits hinreichend viele Bilder aufgenommen wurden und die Bildaufnahme insoweit stabil ist, als sich an den zuletzt aufgenommenen Bildern nichts oder kaum noch etwas ändert, oder ob noch nicht genügend Bilder aufgenommen wurden und sich noch deutliche Änderungen ergeben. Weiterhin kann hierdurch auch überprüft werden, ob sich durch die Bildaufnahme überhaupt noch eine Verbesserung ergeben kann. Wird beispielsweise ein erster Parameter bezüglich des Kontrasts zweier Bildbereiche vorgegeben und als zweiter Parameter eine definierte Grenze angegeben, so kann eine Untersuchung rechtzeitig abgebrochen werden, die aufgrund einer fehlerhaften Schichtlage oder dergleichen zwangsläufig nicht zu Bildern führt, die den ersten kontrastbezogenen Parameter erfüllen. Denn wenn die Messschicht falsch gelegt ist, so wird der vorgegebene Kontrast nicht erreicht, was aber zu einer kontinuierlichen Fortsetzung der Bildaufnahmen führen würde, da die Auswertung stets ergibt, dass der Parameter noch nicht erfüllt ist. Über den zweiten, die Ände-

rungsgrenze definierenden Parameter kann nun erfasst werden, dass sich trotz wiederholter Bildaufnahme keine Änderungen und damit Bildverbesserungen ergeben, so dass die Messung abgebrochen und das de facto unbefriedigende Ergebnis erkannt  
5 werden kann.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielein sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

10

Fig. 1 ein Flussdiagramm einer ersten exemplarischen Untersuchung, und

15

Fig. 2 ein Flussdiagramm einer zweiten exemplarischen Untersuchung.

20

25

30

35

Fig. 1 zeigt in Form eines Flussdiagramms den Ablauf einer ersten, mit einem erfindungsgemäßen Magnetresonanzgerät durchführbaren beispielhaften Untersuchung. Der Untersuchung liegt das Problem oder die Aufgabe zugrunde, für eine Gehirnoperation den operativen Zugangsweg zu dem Tumorgebiet zu planen. Als diagnostische Fragestellung liegt der Untersuchung die Darstellung des Sehzentrums zugrunde. Hierzu wird eine funktionelle Untersuchung des Gehirns mit dem Magnetresonanzgerät vorgenommen. Im Rahmen dieser Untersuchung zur Darstellung des Sehzentrums wird der BOLD-Effekt (BOLD = Blood Oxygen Level Detection) untersucht. Hierbei werden Areale mit erhöhtem Sauerstoffverbrauch mittels der Magnetresonanz sichtbar gemacht. Dieser erhöhte Sauerstoffverbrauch tritt infolge einer Reizverarbeitung auf. Im Rahmen der funktionellen Untersuchung werden nacheinander Messungen mit und ohne definiertter Stimulation des Sehzentrums durchgeführt. Die Stimulation erfolgt beispielsweise durch einfaches Leuchten in die Augen des Patienten. Anhand der aufgenommenen Messungen mit und ohne Stimulation kann dann das Sehzentrum anhand hellerer Bildbereiche, die die Bereiche erhöhten Sauerstoffbereichs darstellen, sichtbar gemacht werden.

Ausgehend von der Untersuchung zugrunde liegenden Aufgabe und der diagnostischen Fragestellung werden zunächst die relevanten Patientendaten erfasst. Diese Patientendaten sind für den Patienten selbst charakteristisch, z.B. die Körpermasse, das Alter, etwaige Erkrankungen und dergleichen. Ferner sind diese Daten auch für die durchzuführende Messung relevant, da abhängig davon bestimmte Betriebsparameter eingestellt werden.

- 10 Anschließend werden beispielsweise geräteseitig automatisch der oder die relevanten, die erforderliche Mindestbildqualität definierenden Parameter ausgewählt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird exemplarisch lediglich ein Parameter ausgewählt, der eine Grenze setzt bezüglich etwaiger Änderungen von nacheinander aufgenommenen Bildern, um anhand dieser Änderungen eine Aussage über die Stabilität der Bildaufnahme treffen zu können. Im Rahmen der funktionellen Untersuchung verbessert sich die Erkennbarkeit des Sehzentrums mit zunehmender Messanzahl, wobei sich die Erkennbarkeit des Sehzentrums mit zunehmender Messanzahl kaum oder nicht mehr ändert. Der gewählte Parameter definiert nun eine Änderungsgrenze, die einen Änderungsgrad oder einen Schwellwert definiert, unterhalb welchem die Änderung innerhalb zweier Bilder liegen muss, um von einer hinreichenden Bildstabilität ausgehen zu können.

Nach Auswahl des Parameters werden eine beliebige Anzahl x an EPI-Messungen (EPI = Echoplanar Imaging) durchgeführt. Beim Echoplanar Imaging handelt es sich um eine ultraschnelle Bildgebungsmethode mit Messzeiten typischerweise unter einer Sekunde. Die Messungen werden abwechselnd mit und ohne Stimulation durchgeführt. Anschließend erfolgt eine statistische Auswertung der aufgenommenen EPI-Bildserien. Hieran schließt sich nun die parameterbezogene Auswertung an. Hierbei wird überprüft, ob das statistische Auswertungsergebnis stabil ist, d.h., ob die Änderung durch zusätzliche Messung(en) unterhalb der definierten Parametergrenze liegt. Ist dies der

Fall, so ist die Bildaufnahme hinreichend stabil, eine weitere Verbesserung der Sehzentrumsdarstellung ist wenn überhaupt nur noch in unwesentlichem Maß möglich. Ergibt die parameterbezogene Auswertung, dass die Bildaufnahme noch nicht  
5 stabil ist, so werden weitere EPI-Messungen durchgeführt.

Fig. 2 zeigt ein weiteres erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel. Auch hier werden im ersten Schritt die relevanten Patientendaten erfasst. Die diagnostische Fragestellung lautet  
10 hier: „Gehirntumor ja / nein“. Nach Erfassung der Patientendaten erfolgt die Auswahl des/der Parameter. Im gezeigten Ausführungsbeispiel werden hier zwei verschiedene den zu erzielenden Mindestkontrast definierende Parameter gewählt.

15 Nach Parameterauswahl erfolgt die erste Messung bzw. die erste Aufnahme der Bilder bzw. der Bildserien. Anschließend werden, nachdem eine bestimmte Anzahl  $x$  an Bildern aufgenommen wurde, diese im Rahmen einer ersten Auswertung hinsichtlich des ersten gewählten Parameters ausgewertet. Hierbei wird überprüft, ob der Bildkontrast einen ersten Mindestwert erreicht. Zu diesem Zweck wird überprüft, ob die Signalamplituden, die die Bildbereiche, die den Kopf zeigen, wenigstens das 100-fache des Signals an Luft betragen. Da Luft eigentlich kein Signal liefert, wird hier de facto überprüft, ob  
20 das Kopfsignal mindestens dem 100-fachen des Grundrauschens entspricht. Führt die erste Ausführung dazu, dass dieser Mindestkontrast nicht gegeben ist, wird die erste Messung weitergeführt. Falls der Mindestkontrast eingestellt ist, erfolgt die zweite Messung, die bei unterschiedlichen Anlagen-  
25 betriebsparametern durchgeführt werden kann. Nach Durchführung einer bestimmten Anzahl  $x$  an Messungen und damit Aufnahme einzelner Bilder erfolgt die zweite Auswertung in Bezug auf den zweiten eingangs gewählten Parameter. Hierbei wird überprüft, ob das Signal bzw. die Signalamplitude der Bildbereiche, die die weiße Hirnsubstanz zeigen, im Verhältnis zum  
30 Signal der Bildbereiche, die die graue Hirnsubstanz zeigen, größer oder gleich „2“ ist. Ist dies nicht der Fall, d.h.,  
35

ist kein Verhältnis 2 : 1 hinsichtlich der Signalamplituden gegeben, werden noch weitere zweite Messungen vorgenommen. Anschließend erfolgt erneut die Auswertung, ob der Mindestkontrast nun eingestellt ist.

5

Ergibt die zweite Auswertung dann, dass das vorgegebene Verhältnis erfüllt ist, so wird im gezeigten Ausführungsbeispiel ein Kontrastmittel gegeben, das einen etwaigen Gehirntumor noch deutlicher hervorhebt. Nach Gabe des Kontrastmittels 10 wird die zweite Messung erneut durchgeführt bzw. weitere Messungen mit den gleichen Betriebsparametern durchgeführt, wo- nach eine neue Auswertung stattfindet. Hier liegt der gleiche Parameter zugrunde wie bei der vorangehenden Auswertung. An- zunehmenderweise liegt dann ebenfalls das Signalverhältnis 15 weiße Hirnsubstanz : graue Hirnsubstanz im geforderten Be- reich, jedoch ist lediglich der etwaige Tumorbereich aufgrund der Kontrastmittelgabe besser sichtbar. Anschließend wird die Messung beendet. Falls der Mindestkontrast jedoch nicht er- reicht ist, erfolgen weitere Messungen.

20

Festzuhalten ist, dass die beiden Ausführungsbeispiele rein exemplarisch und nicht beschränkend sind. Es können beliebige Qualitätsparameter gleich welcher Art verwendet werden, be- züglich welcher im Laufe des Bildaufnahmeverfahrens die auf- 25 genommenen Bilder oder Bildserien quasi *in situ* ausgewertet und in Abhängigkeit des Auswerteergebnisses eine weitere Steuerung des Aufnahmebetriebs erfolgt. Prinzipiell orientie- ren sich die Qualitätsparameter an einzelbild- oder bildse- rienbezogenen Aspekten bzw. definieren diese, da Ziel des er- 30 findungsgemäßen Verfahrens ist, eine möglichst konstante und reproduzierbare Bildaufnahme mit qualitativ vergleichbaren Bildqualitäten zu ermöglichen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Magnetresonanzgeräts, bei  
dem sequenziell Messsignale eines Untersuchungsobjekts aufge-  
nommen und mittels eines Bildrechners in ausgebare Bilddat-  
tensignale eines Einzelbilds oder einer Bildserie verarbeitet  
werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Bilddatensignale eines Einzelbilds oder einer Bild-  
serie in Bezug auf wenigstens einen diagnosespezifischen, ein  
Maß für die zu erzielende Bildqualität darstellenden vorbe-  
stimmten einzelbild- oder bildserienbezogenen Parameter aus-  
gewertet werden, wobei die Messsignalaufnahme in Abhängigkeit  
des Auswerteergebnisses bei Erfüllung des vorgegebenen Para-  
meters beendet oder solange weitergeführt wird, bis eine er-  
neute Auswertung die Erfüllung des vorgegebenen Parameters  
anzeigt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Parameter ein bildkon-  
trastbezogener Parameter verwendet wird, wobei das Einzelbild  
oder die Bildserie bezüglich des Kontrasts eines oder mehrere  
Bildbereiche ausgewertet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter das Verhält-  
nis der Grauwerte zweier Bildbereiche definiert.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass als gegebenenfalls weiterer Parameter ein bilddatensignalbezoge-  
ner Parameter verwendet wird, der ein Maß für den Verlauf des  
Bildsignals definiert.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter die Signal-  
amplitudenhöhe und/oder die Steilheit der Signalflanke(n)

und/oder das Verhältnis Amplitudenhöhe : Amplitudenbreite definiert.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass zur Prüfung der Stabilität der Bildaufnahme wenigstens zwei, vorzugsweise mehrere nacheinander aufgenommene Bilder dahingehend ausgewertet werden, ob sich ein Bildparameter, z.B. des Kontrasts oder die Helligkeit eines Bildbereichs innerhalb  
10 einer mittels des Parameter definierten Grenze ändert, wobei bei einer zu starken Änderung weitere Meßsignale und damit Bilder aufgenommen werden.

7. Magnetresonanzgerät, geeignet zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche.  
15

**Zusammenfassung****Verfahren zum Betrieb eines Magnetresonanzgeräts**

- 5 Verfahren zum Betrieb eines Magnetresonanzgeräts, bei dem sequenziell Messsignale eines Untersuchungsobjekts aufgenommen und mittels eines Bildrechners in ausgebare Bilddatensignale eines Einzelbilds oder einer Bildserie verarbeitet werden, wobei die Bilddatensignale eines Einzelbilds oder einer Bild-
- 10 10 serie in Bezug auf wenigstens einen diagnosespezifischen, ein Maß für die zu erzielende Bildqualität darstellenden vorbestimmten einzelbild- oder bildserienbezogenen Parameter ausgewertet werden, wobei die Messsignalaufnahme in Abhängigkeit des Auswerteergebnisses bei Erfüllung des vorgegebenen Parameters
- 15 15 beendet oder solange weitergeführt wird, bis eine erneute Auswertung die Erfüllung des vorgegebenen Parameters anzeigt.

**FIG 1**

20

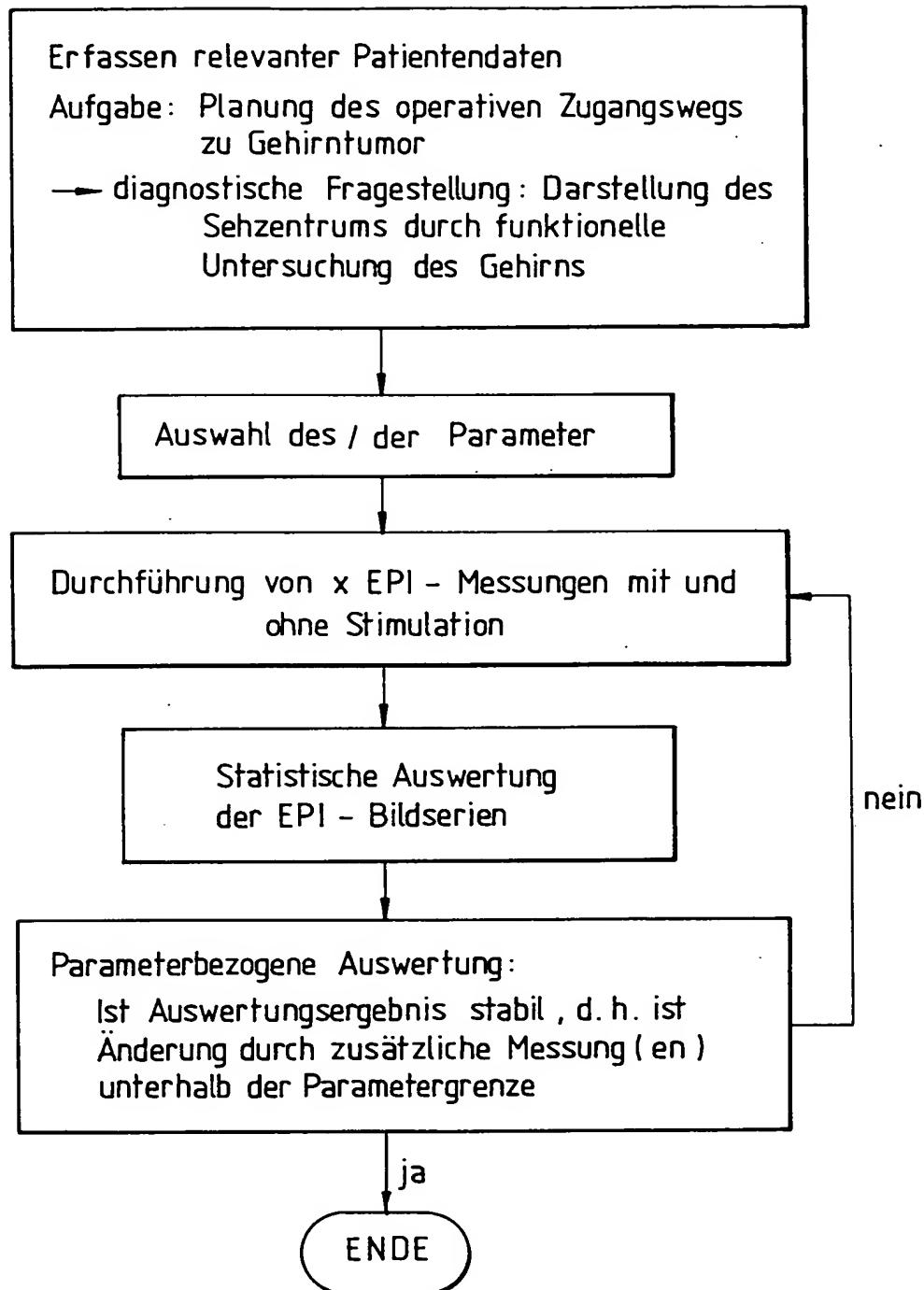


FIG. 1

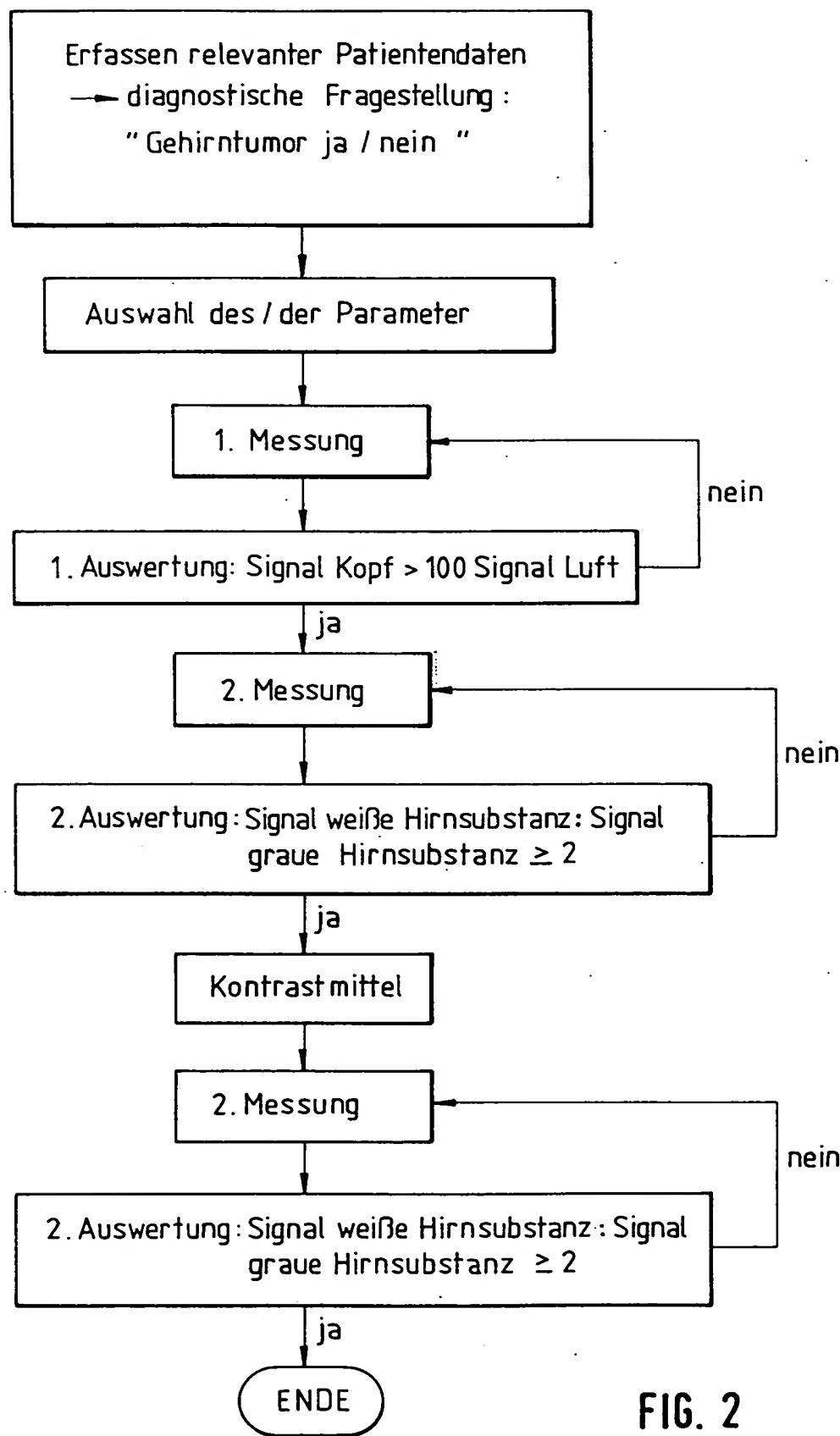


FIG. 2